

(12) DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITÉ DE COOPÉRATION
EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(19) Organisation Mondiale de la Propriété
Intellectuelle
Bureau international



(43) Date de la publication internationale
9 septembre 2005 (09.09.2005)

PCT

(10) Numéro de publication internationale
WO 2005/083516 A2

(51) Classification internationale des brevets⁷ : **G03F 1/14**

APPLIQUEES "SOPRA" [FR/FR]; 26, rue Pierre
Joigneaux, F-92270 Bois Colombes (FR).

(21) Numéro de la demande internationale :
PCT/FR2005/000168

(72) Inventeur; et

(22) Date de dépôt international :
26 janvier 2005 (26.01.2005)

(75) Inventeur/Déposant (pour US seulement) : **STEHLE,
Jean-Louis** [FR/FR]; 19, rue des Arts, F-92700 Colombes
(FR).

(25) Langue de dépôt : français

(74) Mandataire : **PLACAIS, Jean-Yves**; Cabinet Netter, 36,
avenue Hoche, F-75008 Paris (FR).

(26) Langue de publication : français

(30) Données relatives à la priorité :
0400907 30 janvier 2004 (30.01.2004) FR

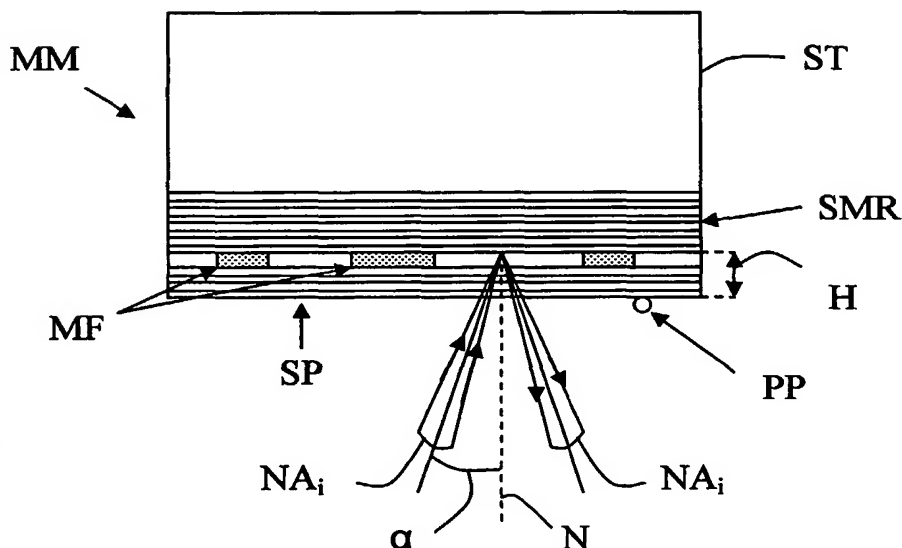
(81) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de
protection nationale disponible) : AE, AG, AL, AM, AT,
AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO,
CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB,
GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG,
KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG,
MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH,

(71) Déposant (pour tous les États désignés sauf US) : **SO-
CIE TE DE PRODUCTION ET DE RECHERCHES**

[Suite sur la page suivante]

(54) Title: PROTECTED PATTERN MASK FOR REFLECTION LITHOGRAPHY IN THE EXTREME UV OR SOFT X-RAY
RANGE

(54) Titre : MASQUE A MOTIFS PROTEGES, POUR LA LITHOGRAPHIE PAR REFLEXION DANS LE DOMAINE DE L'EX-
TREME UV ET DES RAYONS X MOUS



(57) Abstract: A mask (MM) with patterns (MF) for use in a reflection lithography device with a photon beam with a wavelength of less than about 120 nm. Said mask (MM) comprises a planar substrate (ST) fixed to a reflecting structure (SMR) comprising a front face provided with selected patterns (MF) made from a material which is absorbent at the given wavelength and further comprises protection means (SP) which are transparent to the given wavelength and arranged such as to maintain a distance (H) between the perturbing particles (PP) and the patterns (MF) greater than or equal to one of the values of the depth of focus of the lithographic device and the height associated

with the percentage of photon absorption by the perturbing particles (PP) which is acceptable.

(57) Abrégé : Un masque (MM) à motifs (MF) est destiné à être utilisé dans un dispositif de lithographie par réflexion d'un faisceau de photons de longueur d'onde inférieure à environ 120 nm. Ce masque (MM) comprend un substrat planaire (ST) solidarisé à une structure réfléchissante (SMR) comportant une face avant munie de motifs choisis (MF), réalisés dans un matériau absorbant à la longueur d'onde. Il comprend également des moyens de protection (SP) transparents à la longueur d'onde et agencés de manière à maintenir les particules perturbatrices (PP) à une distance (H) des motifs (MF) supérieure ou égale à l'une des valeurs prises par la profondeur de mise au point du dispositif lithographique et la hauteur qui est associée au pourcentage toléré d'absorption de photons par les particules perturbatrices (PP).

WO 2005/083516 A2



PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publiée :

— sans rapport de recherche internationale, sera republiée dès réception de ce rapport

(84) États désignés (sauf indication contraire, pour tout titre de protection régionale disponible) : ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasién (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), européen (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO,

En ce qui concerne les codes à deux lettres et autres abréviations, se référer aux "Notes explicatives relatives aux codes et abréviations" figurant au début de chaque numéro ordinaire de la Gazette du PCT.

MASQUE À MOTIFS PROTÉGÉS, POUR LA LITHOGRAPHIE PAR RÉFLEXION DANS LE DOMAINE DE L'EXTRÊME UV ET DES RAYONS X MOUS

5

L'invention concerne le domaine des masques à motifs utilisés en lithographie optique.

10 La lithographie optique est une technique bien connue permettant de reproduire sur une couche de résine, déposée sur un substrat (ou "wafer"), des motifs présents sur l'une des faces d'un masque à l'aide d'un faisceau de photons et d'un dispositif optique de projection, le plus souvent par réduction.

15 Comme le sait l'homme de l'art, la résolution des traits des motifs, formés (ou "insolés") dans la résine, est proportionnelle à une dimension critique CD égale à $k\lambda/NA$, où λ est la longueur d'onde des photons du faisceau, k est un coefficient inférieur à 1 représentant l'effet des artifices utilisés pour abaisser les limites théoriques (comme par exemple la non-linéarité de la résine), et NA est l'ouverture numérique du faisceau de photons au niveau des motifs. En d'autres termes, les dimensions des motifs reproduits dépendent de la longueur
20 d'onde des photons utilisés.

En raison des propriétés et avantages offerts par les composants électroniques de très petites dimensions, on utilise, pour les réaliser, des longueurs d'onde toujours plus petites. Ainsi, on est progressivement passé de photons présentant une longueur d'onde dans le visible (436
25 nm) à des photons présentant une longueur d'onde dans l'ultraviolet (UV) proche (365 nm ou 248 nm), puis à des photons présentant une longueur d'onde dans l'ultraviolet lointain (193 nm ou 157 nm), en utilisant respectivement les raies G et I du mercure, puis des lasers à excimères KrF, ArF et F₂.

30 Les masques étant difficiles à fabriquer sans défaut, et particulièrement onéreux, ils doivent donc être protégés afin de ne pas être "perturbés" par des particules ambiantes. Une telle protection est relativement simple à mettre en oeuvre lorsque le masque est transparent aux photons utilisés pour la reproduction de ses motifs. Dans ce cas, le masque peut en effet être

utilisé en transmission, si bien qu'il est possible de placer une membrane protectrice fine et en matériau transparent et non perturbant, par exemple en polymère, devant sa face avant (où se trouvent placés les motifs à reproduire), afin que les particules "perturbatrices" (ou indésirables) soient retenues à une distance des motifs interdisant leur reproduction sur la
5 résine (typiquement 6 mm). Cette membrane protectrice (ou pellicule) peut être nettoyée, et dans certains cas elle peut être remplacée après inspection.

Lorsque l'on tend vers les limites de transparence du masque, par exemple pour une longueur d'onde de 157 nm, la protection de ses motifs est plus délicate. Il faut d'abord purger le trajet
10 optique avec de l'Azote (N_2) pour enlever les gaz, tels que l'oxygène (O_2), les molécules, telles que l'eau (H_2O), et les polymères absorbants. Puis, il faut placer devant les motifs une pellicule protectrice solide, en quartz spécial SiOF ou en CaF_2 , transparente à 157 nm, traitée antireflet, présentant des faces très parallèles et une épaisseur choisie de sorte qu'elle fasse partie du calcul optique de formation de l'image des motifs sur la résine.

15 Lorsque la longueur d'onde des photons est dans le domaine de l'ultraviolet (UV) extrême, voire même des rayons X mous (typiquement entre environ 120 nm et environ 1 nm), le masque n'est plus transparent, si bien qu'il doit être utilisé en réflexion. Un tel masque est alors constitué d'un substrat planaire solidarisé à une structure réfléchissante à la longueur
20 d'onde des photons utilisés (réalisée, par exemple pour une longueur d'onde de 13,5 nm (située dans l'ultra violet extrême), sous la forme d'une structure multicouches constituée d'une alternance de couches de Silicium (Si) et de Molybdène (Mo)) et comportant une face avant munie de motifs choisis, réalisés dans un matériau absorbant à ladite longueur d'onde (par exemple en Cr ou en TaN).

25 Or, pour ce type de masque utilisé en lithographie par réflexion, il n'existe pas de moyen connu permettant de protéger les motifs.

L'invention a donc pour but de remédier à cet inconvénient.

30 Elle propose à cet effet un masque à motifs, pour un dispositif de lithographie par réflexion d'un faisceau de photons de longueur d'onde (λ) inférieure à environ 120 nm (et d'ouverture numérique (NA) choisie au niveau des motifs), comprenant un substrat planaire solidarisé à

une structure réfléchissante comportant une face avant munie de motifs choisis réalisés dans un matériau absorbant à la longueur d'onde (λ).

Ce masque se caractérise par le fait qu'il comprend des moyens de protection transparents à la longueur d'onde et agencés de manière à maintenir les particules perturbatrices à une distance (H) des motifs supérieure ou égale à l'une des valeurs prises par la profondeur de mise au point (doF) du dispositif lithographique et la hauteur (h) qui est associée au pourcentage toléré d'absorption de photons par les particules perturbatrices.

Par exemple, les moyens de protection peuvent être agencés de manière à maintenir les particules perturbatrices à une distance (H) des motifs supérieure ou égale à la plus grande des valeurs prises par la profondeur de mise au point (doF) du dispositif lithographique et la hauteur (h).

Cette distance (H) est par exemple comprise entre environ 50 nm et environ 5000 nm. Mais, elle peut être plus grande lorsque l'on utilise une longueur d'onde qui s'éloigne du domaine des rayons X mous.

Les moyens de protection du masque peuvent constituer une structure présentant des caractéristiques complémentaires qui peuvent être prises séparément ou en combinaison, et notamment il est préférable que :

- la structure présente une variation maximale d'épaisseur optique choisie de manière à induire localement une déflexion du faisceau négligeable devant la précision de placement des motifs,
- la structure n'induit pas de variation de phase entre les photons du faisceau réfléchis par le masque,
- la structure soit hydrophobe,
- la structure présente une face avant, opposée aux motifs, pouvant être nettoyée de certaines au moins des particules qu'elle maintient,
- la structure soit agencée de manière à pouvoir être inspectée, avec un contraste choisi, à l'aide de moyens d'observation travaillant dans le visible ou dans l'ultraviolet (UV),
- la structure soit apte à la thermophorèse,

- la structure soit conductrice de manière à permettre la mise en oeuvre d'un effet électrostatique, par exemple pour repousser les particules perturbatrices,
- la structure soit non diffractante et non diffusante dans l'ultraviolet (UV).

5 Par ailleurs, cette structure peut se présenter sous différentes formes, et notamment :

- elle peut être déposée sur la face avant de la structure réfléchissante et parallèlement à celle-ci, et comprendre au moins une couche antireflet réalisée dans un matériau choisi,
- elle peut se présenter sous la forme d'une mousse d'un matériau choisi,
- 10 • elle peut être réalisée dans un matériau choisi, être déposée sur la face avant de la structure réfléchissante, et définir des canaux permettant de réduire sa densité,
- elle peut comprendre une membrane solidarisée par des piliers à la face avant de la structure réfléchissante, et dans une position sensiblement parallèle à cette face avant, l'épaisseur de la membrane et la hauteur des piliers étant alors choisies de sorte que
15 leur somme soit égale à la distance choisie,
- elle peut être composée de nanotubes, par exemple orientés suivant une direction choisie par rapport à la normale à la face avant de la structure réfléchissante.

20 Parmi les matériaux qui peuvent être choisis pour réaliser la structure, on peut notamment citer les polymères transparents à la longueur d'onde (λ , par exemple égale à 10,9 nm ou 13,5 nm), le Carbone (C), les nanotubes de Carbone (ou CNT), le Silicium (Si), le Béryllium (Be), le Ruthénium (Ru), l'Argent (Ag) et le Zirconium (Zr).

25 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à l'examen de la description détaillée ci-après, et des dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 illustre de façon schématique un exemple de réalisation d'un dispositif de lithographie par réflexion dans l'ultraviolet extrême (EUV),
- la figure 2 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale, un premier exemple de réalisation d'un masque à motifs selon l'invention,
- 30 • la figure 3 est un diagramme illustrant l'évolution du paramètre h en fonction du diamètre d des particules perturbatrices, pour deux valeurs d'absorption de photons différentes (1% et 4%),

- la figure 4 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale, un deuxième exemple de réalisation d'un masque à motifs selon l'invention,
 - la figure 5 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale, un troisième exemple de réalisation d'un masque à motifs selon l'invention,
 - 5 • la figure 6 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale, un quatrième exemple de réalisation d'un masque à motifs selon l'invention, et
 - la figure 7 illustre de façon schématique, dans une vue en coupe transversale, un cinquième exemple de réalisation d'un masque à motifs selon l'invention.
- 10 Les dessins annexés pourront non seulement servir à compléter l'invention, mais aussi contribuer à sa définition, le cas échéant.

L'invention concerne un masque à motifs destiné à être utilisé dans un dispositif de lithographie par réflexion fonctionnant avec une source de photons dont la longueur d'onde
15 (λ) est inférieure à environ 120 nm, c'est-à-dire qui appartient au domaine de l'ultraviolet extrême (EUV) et des rayons X mous, notamment à 10,9 nm et 13,5 nm.

On se réfère tout d'abord à la figure 1 pour décrire un exemple, très schématique, de réalisation d'un dispositif de lithographie par réflexion utilisant un masque à motifs MM selon
20 l'invention.

Un dispositif de lithographie comprend principalement un dispositif optique de formation d'image M3-M8 (également appelé dispositif de projection) et une source S de photons, couplée à des miroirs de collection M1 et M2, implantés dans une enceinte à ultravide E,
25 dans laquelle sont définies, de façon très précise, une zone de positionnement d'un masque à motifs MM et une zone de positionnement d'une tranche (ou "wafer") W.

Le masque à motifs MM est destiné à fonctionner en réflexion. Il sera décrit plus loin en détail.

30

Le wafer W est généralement constitué d'un substrat planaire muni sur l'une de ses faces d'une couche de résine R sensible aux photons délivrés par la source S du dispositif de lithographie.

La source S est par exemple chargée de délivrer des photons dont la longueur d'onde λ est égale à 13,5 nm. Une telle longueur d'onde est par exemple obtenue avec une source à décharge ou à plasma laser, dans du Xénon (Xe) ou de l'Étain (Sn). Mais, bien entendu, elle pourrait délivrer des photons présentant d'autres longueurs d'onde comprises entre environ
5 120 nm et environ 1 nm, et notamment une longueur d'onde égale à 10,9 nm (qui correspond à un autre domaine d'émission du Xénon (Xe)).

Dans l'exemple illustré, les miroirs M1 et M2 et le filtre FR sont chargés de collimater les photons délivrés par la source S, de sorte qu'ils parviennent au niveau de la face avant du
10 masque MM (qui comprend les motifs MF (voir figure 2)) sous la forme d'un faisceau présentant une ouverture numérique NA_i choisie. Par exemple, NA_i est égale à 0,064, ce qui correspond à un angle d'ouverture sur les motifs de $\pm 3,6^\circ$.

Par ailleurs, le dispositif optique de formation d'image M3-M8 (également appelé dispositif
15 optique de projection) est chargé de former l'image des motifs MF du masque MM au niveau de la résine R du wafer W, avec un facteur de réduction choisi, par exemple égal à environ 4. Il est ici constitué de six miroirs M3 à M8, à titre d'exemple.

Les angles d'incidence du faisceau de photons sur les différents miroirs et les positions
20 respectives des différents miroirs sont choisis de manière à permettre l'obtention du facteur de réduction et l'illumination de la couche de résine R sous une ouverture numérique NA_f choisie, par exemple égale à environ 0,25.

L'angle d'incidence α du faisceau de photons par rapport à la normale N à la face avant du
25 masque à motifs MM (voir figure 2) est généralement égal à quelques degrés, par exemple environ 6° .

Bien entendu, il ne s'agit que d'un exemple illustratif très schématique. De nombreuses autres combinaisons de moyens optiques peuvent être envisagées pour assurer la collimation et la
30 formation d'image.

On se réfère maintenant plus particulièrement à la figure 2 pour décrire un premier exemple de réalisation de masque à motifs MM, selon l'invention. Sur cette figure, comme sur les

figures 4 à 7, les dimensions relatives des différents éléments ne sont pas représentatives de leurs dimensions relatives réelles.

5 Un masque à motifs MM, utilisé en réflexion, comprend tout d'abord un substrat planaire ST dont l'une des faces est solidarisée à une structure SMR réfléchissante à la longueur d'onde λ des photons de la source S et comportant une face avant munie de motifs MF choisis, réalisés dans un matériau absorbant à la longueur d'onde λ .

10 Par exemple, la structure réfléchissante SMR est une structure multicouches constituée d'un empilement de 40 paires de couches de Silicium (Si), par exemple de 4 nm d'épaisseur, et de Molybdène (Mo), par exemple de 2,7 nm d'épaisseur.

Des couches tampon et de protection peuvent être ajoutées pour des raisons technologiques.

15 Les motifs absorbants sont par exemple réalisés en Chrome (Cr) ou en TaN. Mais, tout autre matériau absorbant à la longueur d'onde λ des photons (ici égale à 13,5 nm) peut être envisagé. L'épaisseur des motifs MF est préférentiellement réduite de manière à éviter les effets de bord des masques dont les dimensions sont typiquement de l'ordre de 152 mm x 152 mm (pour une zone de 104 mm x 104 mm réservée aux motifs MF). Par ailleurs, compte tenu
20 d'un facteur de réduction d'environ 4, les traits imprimés dans la couche de résine R ont par exemple une largeur de 25 nm, 32 nm ou 45 nm, ce qui correspond à des motifs MF dont les largeurs sont respectivement de 100 nm, 128 nm et 180 nm.

25 Comme le sait l'homme de l'art, et comme évoqué dans la partie introductive, de nombreuses particules perturbatrices PP de très petites dimensions (par exemple 30 à 60 nm) sont susceptibles de venir s'insérer entre les parties absorbantes constituant les motifs MF, altérant ainsi l'intégrité du masque MM. Les particules perturbatrices PP ne gênent de façon sensible ni la formation d'image ni l'absorption, lorsqu'elles sont placées sur les parties absorbantes.

30 Afin d'empêcher qu'une telle insertion ne survienne, l'invention propose de placer devant les motifs MF des moyens de protection SP transparents à la longueur d'onde λ des photons et chargés de maintenir les particules perturbatrices PP à une distance H des motifs, qui est supérieure ou égale à l'une des valeurs prises par la profondeur de mise au point doF du

dispositif lithographique et la hauteur h associée au pourcentage toléré d'absorption de photons par les particules perturbatrices PP.

La profondeur de mise au point doF est égale à λ / NA_i^2 . Par exemple dans le cas d'une
 5 ouverture numérique NA_i égale à 0,064 et d'une longueur d'onde λ égale à 13,5 nm on obtient une profondeur de mise au point doF égale à environ 3296 nm. Bien entendu, il ne s'agit que d'un exemple, et doF peut varier typiquement entre environ 50 nm et environ 5000 nm en fonction des valeurs choisies pour NA_i et λ , voire même plus encore lorsque l'on utilise une longueur d'onde qui s'éloigne du domaine des rayons X mous.

10

Par ailleurs, il est rappelé que le pourcentage d'absorption de photons par les particules perturbatrices PP est défini par le facteur (ou pourcentage) d'ombre qui est donné par la formule :

$$\text{Pourcentage d'Ombre} = \left(\frac{d}{h * 2NA_i} \right)^2$$

15 où d est le diamètre des particules perturbatrices PP, h est le paramètre représentatif de la hauteur séparant les particules perturbatrices des motifs MF.

Si l'on tolère une absorption de photons égale à environ 1%, on obtient alors la relation simplifiée $h = 80 * d$. En revanche, si l'on tolère une absorption de photons égale à environ
 20 4%, on obtient alors la relation simplifiée $h = 40 * d$. On a représenté sur le diagramme de la figure 3 l'évolution du paramètre h (en nanomètres (nm)) en fonction du diamètre d (en nanomètres (nm)) des particules perturbatrices, pour des valeurs d'absorption de photons égales à 1% (courbe supérieure) et à 4% (courbe inférieure).

25 Plus le diamètre d de la particule perturbatrice PP est petit, moins le paramètre h intervient dans le choix de la distance H séparant la partie avant du moyen de protection SP de la face avant de la structure réfléchissante SMR (où sont formés les motifs MF). La valeur de H doit donc être choisie supérieure ou égale à l'une des valeurs prises par doF et h .

30 Par exemple, au premier ordre on peut fixer les conditions suivantes : si doF est supérieure à h , la distance H doit être supérieure ou égale à doF , tandis que si doF est inférieure à h , la

distance H doit être supérieure ou égale à h. En d'autres termes, au premier ordre, la valeur de H est choisie supérieure ou égale à la plus grande des valeurs prises par doF et h. Des calculs de simulation de formation d'image prenant en compte des paramètres complémentaires, comme par exemple la diffraction et/ou les différences d'indice, permettent d'affiner les conditions précitées.

Les moyens de protection SP peuvent par ailleurs présenter une ou plusieurs caractéristiques complémentaires qui peuvent en renforcer les performances et/ou les avantages.

Il est par exemple avantageux que les moyens de protection SP n'absorbent pas (ou très peu) les photons. Il est en effet rappelé qu'en lithographie par réflexion l'épaisseur optique T des moyens de protection SP est traversée deux fois. A cet effet, il est préférable d'utiliser un matériau à faible, voire très faible, vieillissement, résistant au faisceau de photons et à faible, voire très faible, oxydation.

On remarquera qu'une particule perturbatrice PP peut être traversée deux fois, mais pas par le même faisceau.

Il est par exemple également avantageux que les moyens de protection SP présentent une variation maximale d'épaisseur optique T induisant localement une déflexion du faisceau de photons négligeable devant la précision de placement des motifs MF.

Il est par exemple également avantageux que les moyens de protection SP n'induisent pas (ou très peu) de variation de phase entre les photons du faisceau qui sont réfléchis par le masque MM.

Il est par exemple également avantageux que les moyens de protection SP soient hydrophobes. Il en est rappelé que les molécules d'eau (H_2O) sont absorbantes à 13,5 nm.

Il est par exemple également avantageux que la face avant des moyens de protection SP, qui est opposée aux motifs MF, puisse être nettoyée de certaines au moins des particules perturbatrices PP qu'elle maintient. Dans ce cas, il est préférable que les moyens de

protection SP puissent être inspectés, avec un contraste choisi, à l'aide de moyens d'observation travaillant dans le visible ou dans l'ultraviolet, par exemple à 248 nm.

5 Au lieu de nettoyer la face avant des moyens de protection SP, on peut envisager de les retirer du masque MM afin de les remplacer. Ce retrait peut par exemple s'effectuer par combustion ou par oxydation (notamment lorsqu'ils sont réalisés à base de nanotubes de carbone, comme on le verra plus loin) à l'aide de gaz carbonique (CO₂), lequel est ensuite évaporé et pompé afin d'éviter les dépôts résiduels. Une fois ce retrait effectué, on peut alors inspecter le masque MM puis déposer de nouveaux moyens de protection SP sur sa face
10 avant.

Il est par exemple également avantageux que les moyens de protection SP soient aptes à la thermophorèse.

15 Il est par exemple également avantageux que les moyens de protection SP soient conducteurs électriquement, afin de les utiliser pour mettre en oeuvre un effet électrostatique, par exemple pour repousser les particules perturbatrices lorsqu'elles sont ionisées.

Il est par exemple également avantageux que les moyens de protection SP soient non
20 diffractants et non diffusants dans l'ultraviolet (UV), y compris dans l'UV extrême, pour la qualité de l'image, notamment lorsque la longueur d'onde est égale à 13,5 nm, et pour la qualité et le contraste lors de l'inspection.

De nombreuses structures peuvent constituer les moyens de protection SP présentés ci-avant.
25 Ces structures doivent toujours être solidarisées au substrat ST ou à la structure réfléchissante SMR, et peuvent comprendre une partie assurant le maintien à distance des particules perturbatrices PP, également appelée pellicule (ou membrane), qui est soit distante des motifs MF, soit au contact de ceux-ci.

30 Comme cela est schématiquement illustré sur la figure 1, les moyens de protection SP peuvent constituer une structure antireflet planaire, de préférence de type multicouches, déposée sur la face avant de la structure réfléchissante SMR et parallèlement à celle-ci. A cet effet, on peut par exemple utiliser des couches en Mo-Si.

Dans une première variante, illustrée sur la figure 4, les moyens de protection SP peuvent constituer une structure composée de nanotubes orientés suivant une direction choisie par rapport à la normale N à la face avant de la structure réfléchissante SMR. Par exemple, on peut utiliser des nanotubes en carbone ou (CNT), présentant préférentiellement des parois d'épaisseur monoatomique, espacés les uns des autres d'une distance inférieure au diamètre des particules perturbatrices PP les plus petites, et pouvant éventuellement présenter une désorientation par rapport à la normale N.

Dans une deuxième variante, illustrée sur la figure 5, les moyens de protection SP peuvent constituer une structure comportant des couches CL dans lesquelles sont définis des canaux CX de dimensions adaptées par rapport à celles des particules perturbatrices PP, en vue de les bloquer au niveau de leurs extrémités avant. Ces canaux CX étant remplis de "vide", ils permettent de réduire la densité du matériau. Une telle structure peut être définie à l'aide d'une technique de lithographie appliquée à un matériau tel que le Silicium (Si) ou un polymère, comme par exemple le PMMA. Elle peut également être obtenue par ajout sur la face avant de la structure réfléchissante SMR d'un cristal photonique ou de Silicium poreux.

Dans une troisième variante, illustrée sur la figure 6, les moyens de protection SP peuvent constituer une structure en mousse formant une membrane (ou pellicule), préférentiellement solidarisée à la face avant de la structure réfléchissante SMR. Comme dans la deuxième variante, la mousse contient de nombreux espaces vides qui permettent de réduire la densité du matériau. Cette mousse peut être par exemple réalisée à partir d'un polymère, tel que le PMMA, ou de nanotubes, par exemple en carbone (ou CNT), ou de Béryllium (Be), ou de Ruthénium (Ru), ou d'Argent (Ag), ou encore de Zirconium (Zr).

Dans une quatrième variante, illustrée sur la figure 7, les moyens de protection SP peuvent constituer une structure constituée d'une membrane (ou pellicule) ME solidarisée par des piliers PS à la face avant de la structure réfléchissante SMR. Certaines extrémités de piliers PS peuvent s'appuyer sur les motifs MF, comme illustré. La membrane ME est placée sensiblement parallèlement à la face avant de la structure réfléchissante SMR. Par ailleurs, l'épaisseur de la membrane ME et la hauteur des piliers PS sont choisies de sorte que leur somme soit égale à la distance H choisie. Les piliers peuvent être par exemple obtenus par croissance de germes (ou "seeds"). Une telle structure peut être par exemple réalisée à partir

d'un polymère, tel que le PMMA, ou de Silicium (Si), ou encore dans un matériau antireflet, tel que Mo-Si. Le matériau constituant cette structure peut également se présenter sous la forme d'une mousse, comme dans la troisième variante présentée ci-avant en référence à la figure 6.

5

L'invention ne se limite pas aux modes de réalisation de masque à motifs décrits ci-avant, seulement à titre d'exemple, mais elle englobe toutes les variantes que pourra envisager l'homme de l'art dans le cadre des revendications ci-après.

REVENDICATIONS

1. Masque (MM) à motifs (MF), pour un dispositif de lithographie par réflexion d'un faisceau de photons de longueur d'onde inférieure à environ 120 nm, comprenant un substrat planaire (ST) solidarisé à une structure réfléchissante (SMR) comportant une face avant munie de motifs (MF) choisis, réalisés dans un matériau absorbant à ladite longueur d'onde, caractérisé en ce qu'il comprend des moyens de protection (SP) transparents à ladite longueur d'onde et agencés pour maintenir des particules perturbatrices (PP) à une distance (H) desdits motifs (MF) supérieure ou égale à l'une de deux valeurs prises parmi une profondeur de mise au point (doF) dudit dispositif et une hauteur motif/particule perturbatrice (h) associée à un pourcentage toléré d'absorption de photons par lesdites particules perturbatrices (PP), fonction de leur diamètre (d).
2. Masque selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) sont agencés pour maintenir les particules perturbatrices (PP) à une distance (H) desdits motifs (MF) supérieure ou égale à la plus grande des deux valeurs prises par la profondeur de mise au point (doF) du dispositif et la hauteur motif/particule perturbatrice (h).
3. Masque selon l'une des revendications 1 et 2, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure présentant une variation maximale d'épaisseur optique choisie de manière à induire localement une déflexion du faisceau négligeable devant la précision de placement desdits motifs (MF).
4. Masque selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure n'induisant sensiblement pas de variation de phase entre photons du faisceau réfléchis par ledit masque.
5. Masque selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure hydrophobe.

6. Masque selon l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure dont au moins une face avant, opposée auxdits motifs(MF), est propre à être nettoyée de certaines au moins des particules perturbatrices (PP) qu'elle maintient.
- 5 7. Masque selon l'une des revendications 1 à 6, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure propre à être inspectée, avec un contraste choisi, à l'aide de moyens d'observation travaillant dans le visible ou dans l'ultraviolet.
- 10 8. Masque selon l'une des revendications 1 à 7, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure apte à la thermophorèse.
- 15 9. Masque selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure conductrice apte à mettre en oeuvre un effet électrostatique.
10. Masque selon la revendication 9, caractérisé en ce que ledit effet électrostatique est destiné à repousser lesdites particules perturbatrices (PP).
- 20 11. Masque selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure non diffractante et non diffusante dans l'ultraviolet.
- 25 12. Masque selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que ladite distance (H) est comprise entre environ 50 nm et environ 5000 nm.
- 30 13. Masque selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure déposée sur la face avant de la structure réfléchissante et parallèlement à celle-ci, et comprenant au moins une couche antireflet réalisée dans un matériau choisi.

14. Masque selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure constituée d'une mousse d'un matériau choisi.
- 5 15. Masque selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure réalisée dans un matériau choisi, déposée sur la face avant de la structure réfléchissante (SMR), et définissant des canaux (CX) permettant de réduire la densité dudit matériau.
- 10 16. Masque selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (SP) constituent une structure comprenant une membrane (ME) solidarisée par des piliers (PS) à la face avant de la structure réfléchissante, et dans une position sensiblement parallèle à ladite face avant, l'épaisseur de ladite membrane (ME) et la hauteur desdits piliers (PS) étant choisies de sorte que leur somme soit
15 égale à ladite distance choisie (H).
17. Masque selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que lesdits moyens de protection (PS) constituent une structure composée de nanotubes orientés suivant une direction choisie par rapport à la normale (N) à ladite face avant de la structure
20 réfléchissante (SMR).
18. Masque selon l'une des revendications 13 à 17, caractérisé en ce que ledit matériau est choisi parmi au moins les polymères transparents à ladite longueur d'onde, le Carbone, les nanotubes de Carbone, le Silicium, le Béryllium, le Ruthénium, l'Argent
25 et le Zirconium.

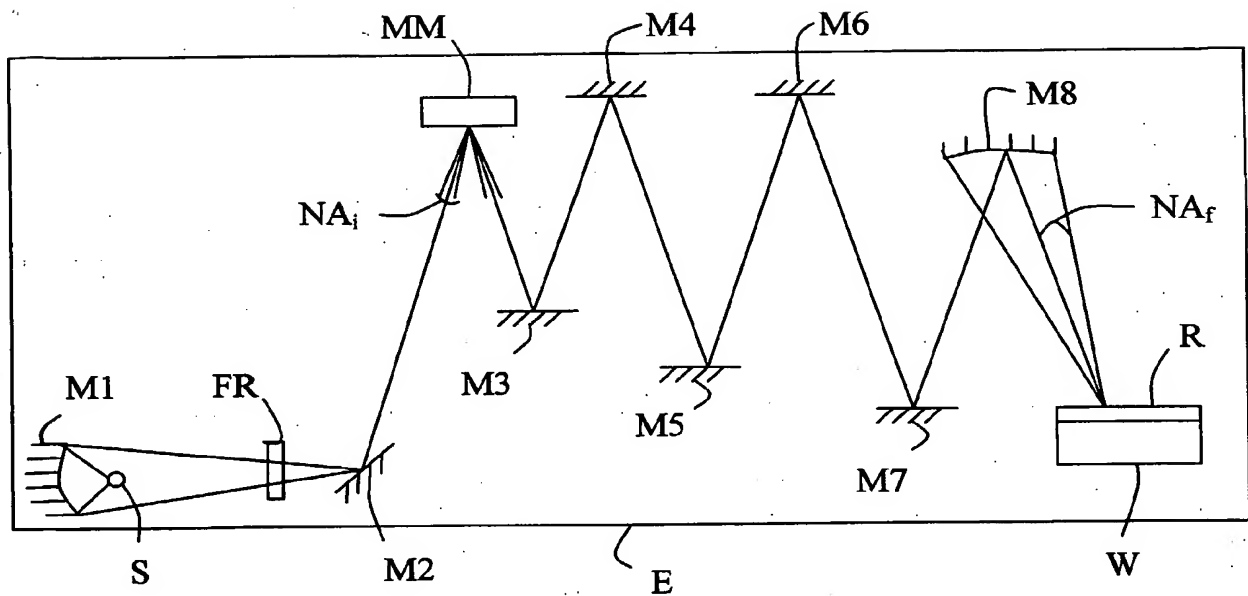


FIG.1

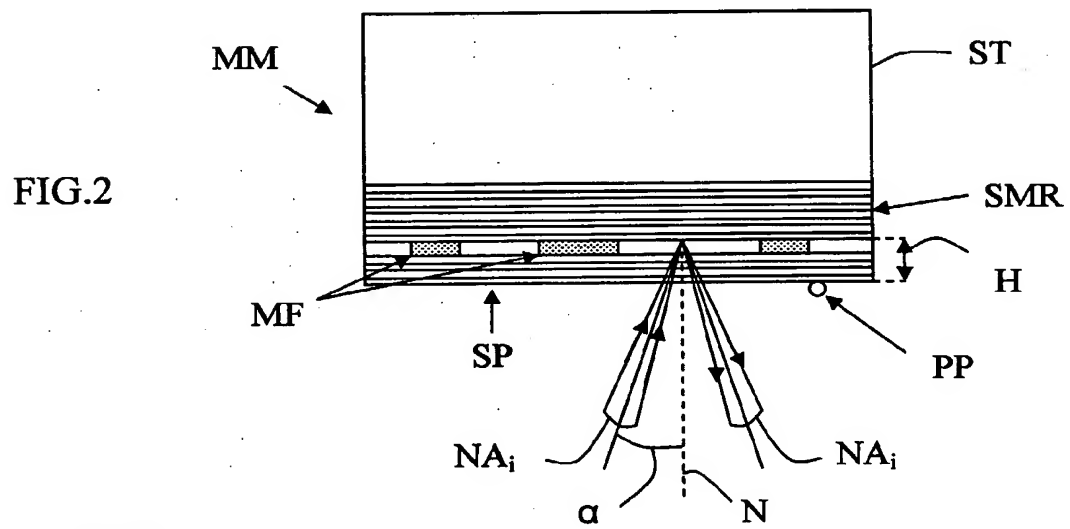


FIG.2

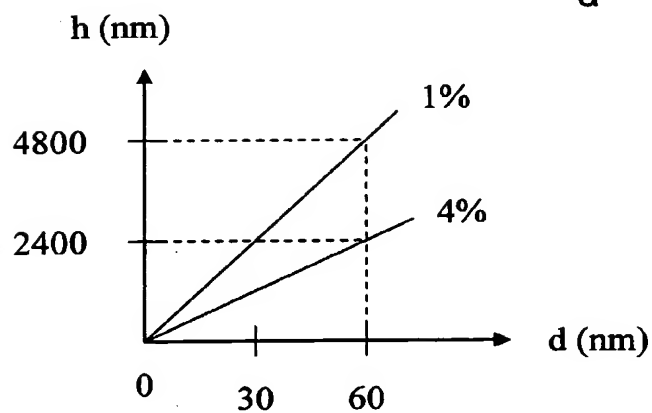


FIG.3

FIG.4

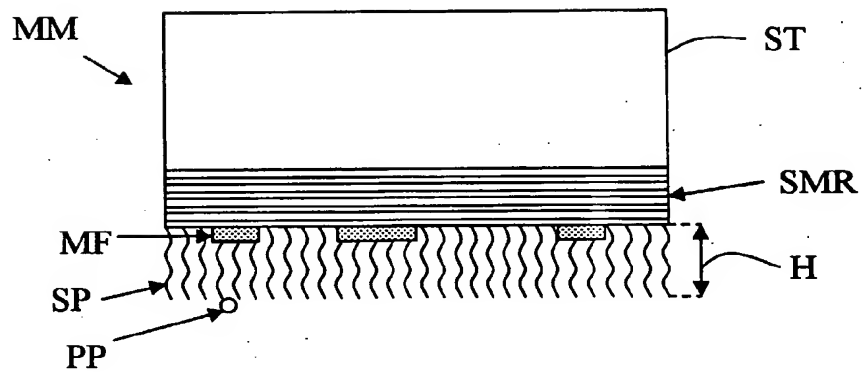


FIG.5

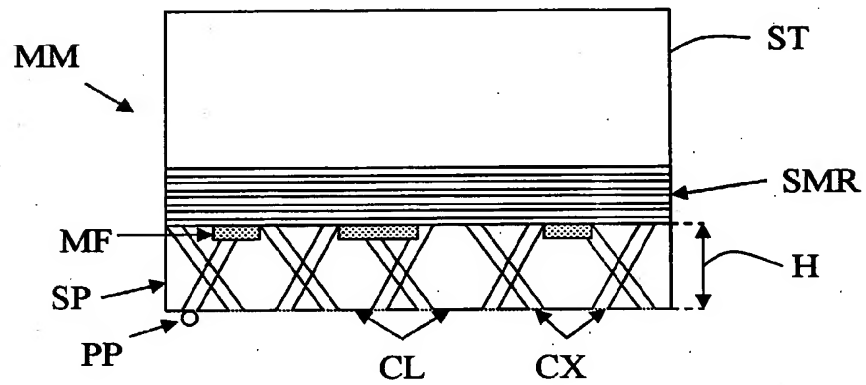


FIG.6

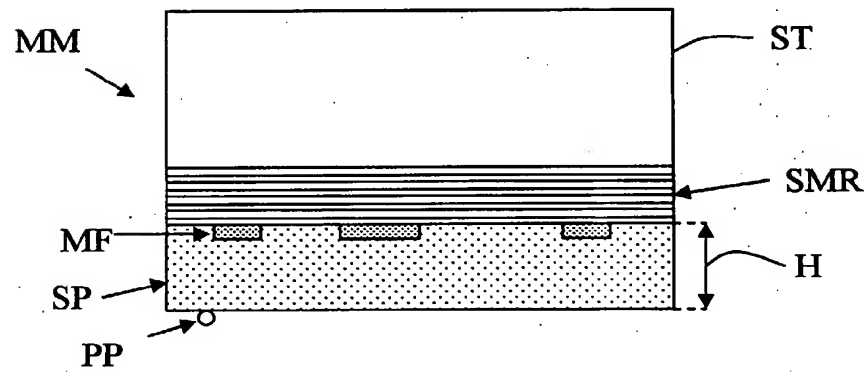


FIG.7

